

› **INFORMATIEBLADEN**
ZOUTWINNING

› INFORMATIEBLADEN ZOUTWINNING

Voorwoord, disclaimer

1. Beschrijving
 - a. Ontstaansgeschiedenis
 - b. Zoutwinning door oplosmijnbouw
 - c. Cavernes
2. Potentieel in Nederland
 - a. Vergunningen
 - b. Geotechnische randvoorwaarden
 - c. Zoutvoorkomens
3. Proces
 - a. Fasering en vergunningen
 - b. Keten zoutwinning
4. Ruimtegebruik en infrastructuur
 - a. Boringen
 - b. Productielocatie
 - c. Zoutverwerkingsfabriek
5. Effecten
 - a. Bodemdaling
 - b. Bodemtrillingen en milieu
6. Andere activiteiten
 - a. Overzicht competitie
 - b. Herbenutting

› VOORWOORD, DISCLAIMER

De informatiebladen geven een algemeen overzicht van de activiteiten die in de diepe ondergrond mogelijk zijn en van de infrastructuur en mogelijke effecten die samenhangen met het gebruik van de diepe ondergrond. Specifieke technologische details omtrent de installaties, gebruikte technieken en stoffen, etc. zullen uit andere, daar toe geëigende bronnen moeten worden gehaald. TNO is niet aansprakelijk voor eventuele fouten en onvolkomenheden in dit overzicht.

De documenten omvatten algemene kentallen en beschrijvingen die van de werkelijke situatie kunnen afwijken. TNO is niet aansprakelijk waar het deze afwijkingen betreft.

De meeste figuren zijn louter ter illustratie weergegeven en afkomstig van diverse bronnen. M.n. bij schematische overzichten wordt vaak een verkeerde indruk van de schaal/omvang gegeven, bijvoorbeeld de diepte waarop activiteiten plaatsvinden.

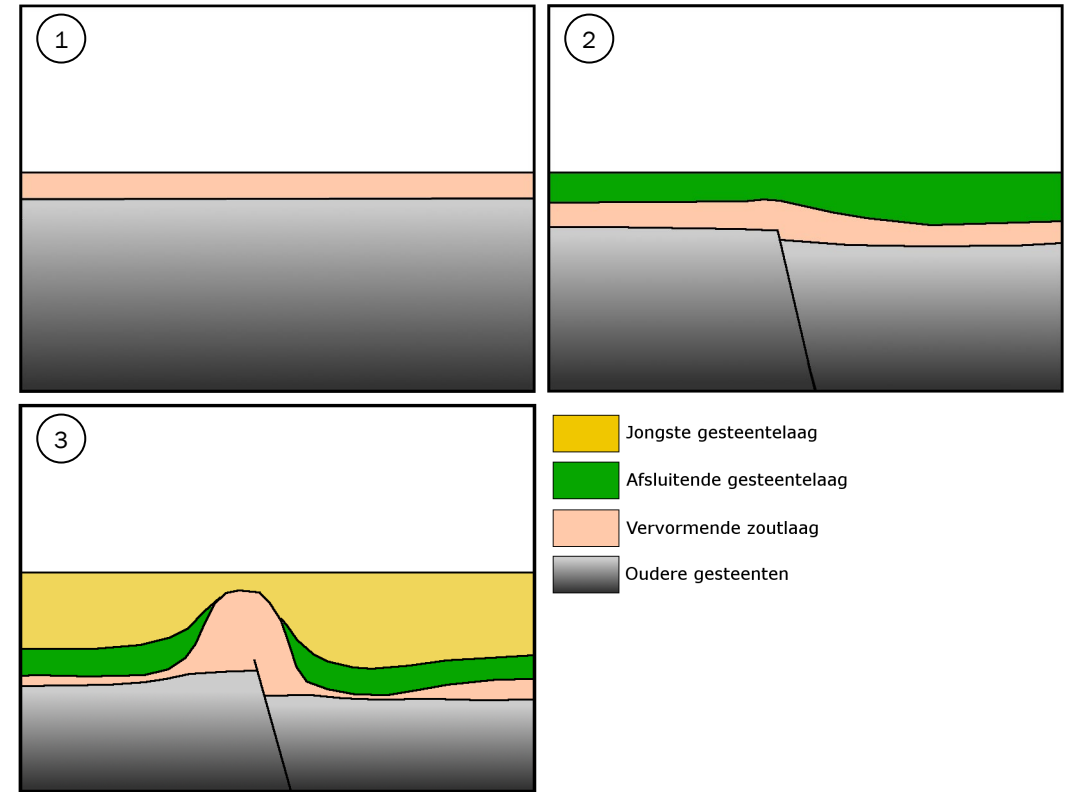
› BESCHRIJVING

1a) Ontstaansgeschiedenis

Algemeen

Zout wordt afgezet in (ondiepe) zeeën die zijn afgesloten van grotere watermassa's (zoals oceanen). De zoutlaag ontstaat omdat het water verdampt en het zout achterblijft (precipitatie). Het zout vormt aanvankelijk een min of meer continue laag met geringe dikte verschillen. Gedurende de geologische geschiedenis raakt het zout begraven onder andere sedimentpakketten waardoor druk en temperatuur toenemen. Vooral door de toename van temperatuur zal het zout zich plastisch gaan gedragen. Het zout kan hierdoor gaan vloeien (bijv. door variaties in het gewicht van de gesteentekolom boven het zout en/of de ligging van breuken onder het zout). Het wegnijpen van zout op de ene plaats en het samenvloeien naar een andere locatie kan resulteren in de vorming van een zg. zoutkussen of zoutpilaar.

Het indampingsproces leidt tot afzetting van meerdere soorten zout. De belangrijkste zoutsoort die gewonnen wordt is steenzout (ofwel gewoon keukenzout, NaCl). Een andere zoutsoort die belangrijk is voor de industrie is het zg. Kalium-Magnesium zout.



1. Afzetting van zout
2. Langzame begraving onder jongere gesteentelagen
3. Deformatie van de zoutlaag tot zoutpilaar of kussen onder invloed van verdere begraving

Schematische weergave van de ontstaansgeschiedenis van zout en zoutstructuren

› BESCHRIJVING

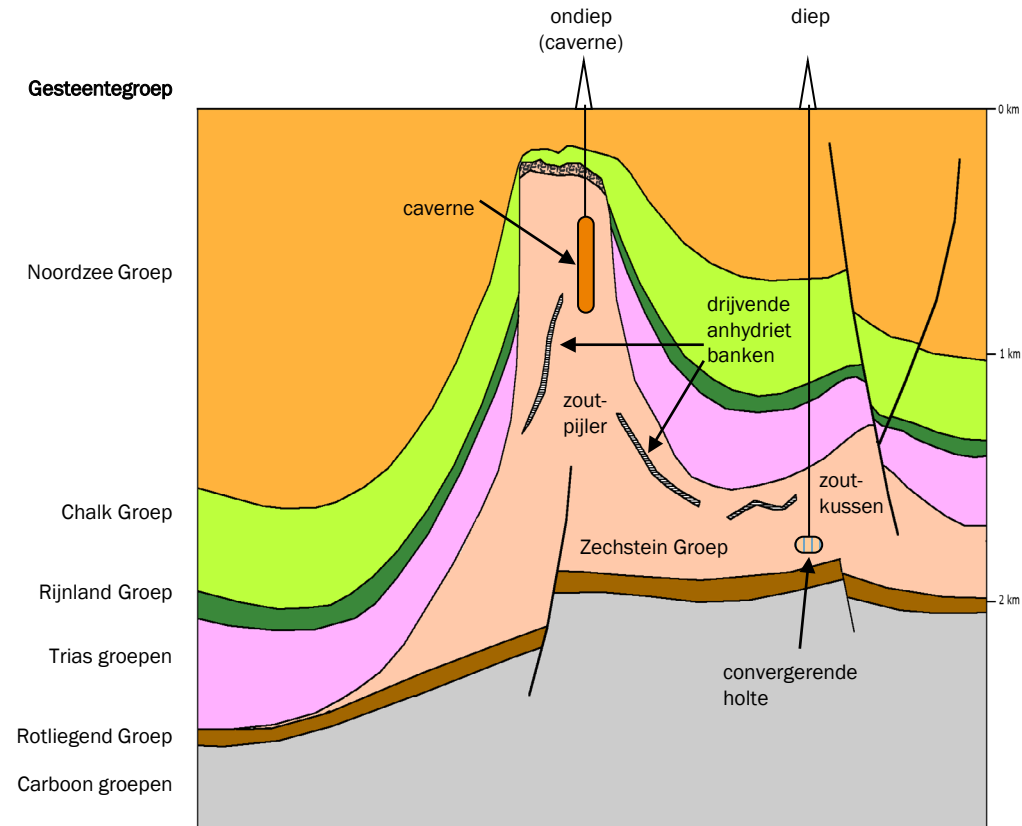
1b) Zoutwinning door oplossingsmijnbouw

Zout wordt in Nederland gewonnen middels oplosmijnbouw. Via een boring wordt zoet water geïnjecteerd waarin het zout oplost. Zo ontstaat over de duur van enkele jaren een holte of caverne waarvan de dimensies o.a. afhankelijk zijn van de diepteligging, vorm, dikte en samenstelling van het zoutvoorkomen.

De winning van zout richt zich in Nederland vooral op de zoutkussens en zoutpijlers ondieper dan 1500 meter. In dit dieptebereik gedraagt het zout zich redelijk stabiel en kunnen blijvende cavernes worden aangelegd. Dieper gelegen zout gedraagt zich plastisch en aangelegde holtes worden hier na winning weer dichtgeknepen. Tijdens winning behoudt de holte een min of meer constant volume. Een voorbeeld hiervan is de zoutwinning bij Barradeel.

Steenzout wordt voornamelijk uit zoutstructuren (kussens, pilaren) met een grote dikte gewonnen. Kalium-Magnesium zout wordt uit dunnere (meer laagvormige) zoutafzettingen gewonnen. Voor de winning van zout is de homogeniteit en kwaliteit van het zout belangrijk. Verstoringen in het zout (bijv. drijvende anhydrietbanken) of veel niet-oplosbare componenten zijn nadelig voor de technische en economische winbaarheid.

Het gewonnen zout wordt in de vorm van pekela via transportleidingen naar een centrale zoutverwerkingsfabriek vervoerd en daar ingedampt tot vast zout.



Schematische weergave van zoutwinning in een zoutpijler en zoutkussens

> BESCHRIJVING

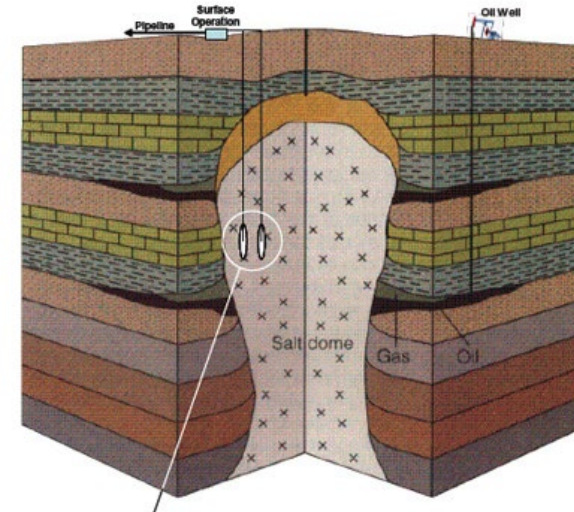
1c) Cavernes

Zoutcavernes in het dieptebereik van 1000 – 1500 m hebben doorgaans een langgerekte cilindrische vorm met een hoogte van enkele honderden meters (tot wel 600 m bij een diameter van 50 – 100 m). Een dergelijke geometrie wordt gekozen vanwege zijn grote stabiliteit. Volumina per caverne bedragen typisch 300.000 tot 500.000 m³ met uitschieters tot bijna 2 miljoen m³.

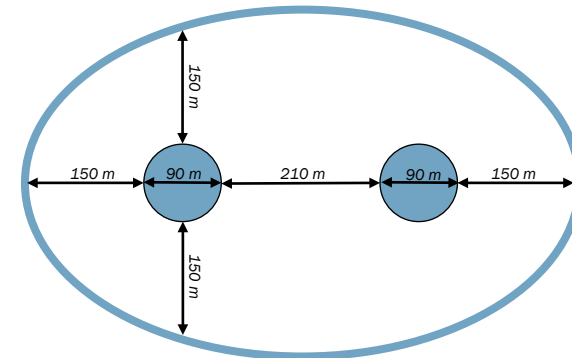
Meer bol- of peervormige cavernes met een geringe hoogte worden aangelegd in het dieptebereik van 500 tot 1000 m. Waar de zoutlaag een beperkte dikte heeft, worden ook wel klokvormige cavernes gemaakt (bijv. 100 m hoogte en diameter 50 m). De volumina variëren hier tussen 100.000 en 200.000 m³.

Vanuit stabiliteitsoogmerk dienen het dak en de wanden van een caverne sterk genoeg te zijn (afstand zijwand en onderlinge afstand tussen cavernes). De afstand tussen een caverne en de flank van de structuur dient minimaal 150 m te bedragen bij een cavernediameter van 90 m. Tussen onderlinge cavernes dient een wanddikte van 160 m (bij 1000 m diepte) tot 210 m (bij 1500 m diepte) aanwezig te zijn.

Not to Scale



Salt Dome Caverns



Dimensie en afstand tussen cavernes (bron: TNO, 2011)

POTENTIEEL IN NEDERLAND

2a) Vergunningen

Zout wordt al lange tijd gewonnen onder het vaste land in Nederland. De [interactieve kaart van NLOG](#) laat de meest actuele situatie zien van de gebieden waarvoor een opsporingsvergunning dan wel een winningsvergunning voor zout is aangevraagd of verleend. In het oosten van het land zijn diverse winningslocaties met meerdere cavernes. Een aantal daarvan wordt benut voor opslag en buffering doeleinden (aardgasbuffering in Zuidwending, stikstofopslag in Heiligerlee, gasolie-opslag in Hengelo). In Barradeel (Friesland) wordt zout op grote diepte gewonnen (>2500 m).

Zoutwinning vindt m.n. ook plaats in de Duitsland rond de grens met Nederland. Hier worden cavernes veelal benut voor (aard)gasbuffering. In de Ierse zee lopen o.a. projecten voor aanleg van cavernes op zee (t.b.v. aardgasbuffering).



› POTENTIEEL IN NEDERLAND

2b) Geotechnische randvoorwaarden

Harde geologische randvoorwaarden

Aanwezigheid van een **zoutvoorkomen** met een voldoende grote omvang, dikte en juiste samenstelling (NaCl of Kalium-Magnesiumzout). Voor de aanleg van twee cavernes is een structuur met een omvang van minimaal 800 bij 400 m op een diepte van 1500 m nodig.

Andere technische en economische wegingsfactoren

Homogeniteit van het voorkomen (voorkomen van breuken in gesteente rondom het zout, drijvende anhydrietbanken).

De **kwaliteit** van het zout waaronder de chemische samenstelling en het aandeel van onoplosbare componenten.

Zoutkruip bepaalt de **mate van bodemdaling** die bij winning optreedt. Dit is afhankelijk van diverse factoren waaronder het caverne-volume, de snelheid van winning en de diepte van de caverne.

POTENTIEEL IN NEDERLAND

2c) Zoutvoorkomens

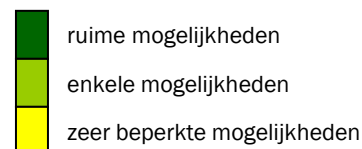
Diepteligging

Zout komt voor binnen een groot dieptebereik. De ondiepste zoutvoorkomens in Nederland liggen op een diepte van ca. 100 m (Zuidwending). De maximale diepte van zout kan doorlopen tot meer dan 5 km. De meeste winningen vinden plaats op een diepte tussen 200 en 1600 m. Barradeel is 's werelds diepste zoutwinning, op een diepte tussen 2500 en 3000 m.

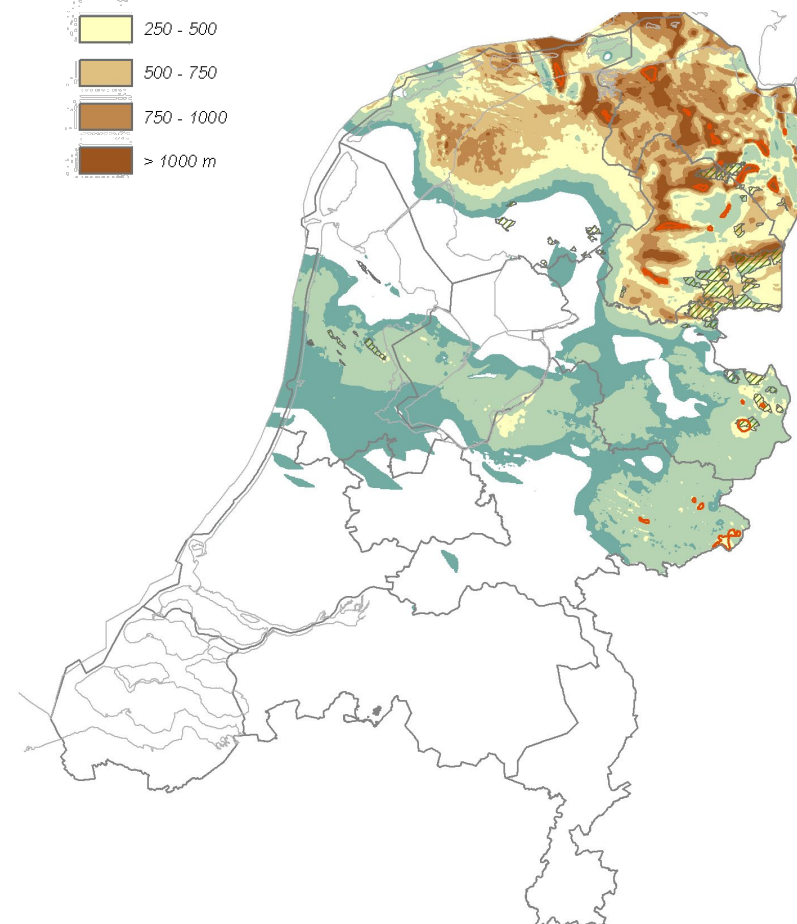
Verbreiding

Zout komt alleen voor in de noordelijke helft van Nederland binnen de Zechstein Groep en de Trias groepen. Het heeft de grootste dikte in Drenthe, Groningen en noordoost Friesland waar meerdere zoutpijlers en zoutkussen zijn gevormd.

	Friesland	Groningen	Drenthe	Overijssel	Noord-Holland	Flevoland	Utrecht	Gelderland	Zuid-Holland	Zeeland	Noord-Brabant	Limburg
Tertiaire Groepen												
Chalk Groep												
Rijnland Groep												
Jura Groepen												
Trias Groepen	ruime mogelijkheden	ruime mogelijkheden	ruime mogelijkheden	ruime mogelijkheden	ruime mogelijkheden	ruime mogelijkheden	ruime mogelijkheden	ruime mogelijkheden				
Zechstein Groep	ruime mogelijkheden	ruime mogelijkheden	ruime mogelijkheden	ruime mogelijkheden	ruime mogelijkheden	ruime mogelijkheden	ruime mogelijkheden	ruime mogelijkheden				
Rotliegend Groep												
Carboon												



Totale zoutdikte Etage 2 en 3 (m)



Verbreiding en dikte van steenzoutvoorkomens

› PROCES

3a) Fasering en vereiste vergunningen

Fase	Activiteiten	Vergunningen, regelingen
Opsporing	Vooronderzoek en aanvraag. (vereist)	Opsporingsvergunning zout
	Seismisch verkenningsonderzoek. (optioneel)	Milieu- en omgevingsvergunningen
	Proefboring(en), metingen, testen. (vereist)	Milieu- en omgevingsvergunningen
Winning	Evaluatie en vergunningaanvraag. (vereist)	Winningsvergunning zout, algemeen sluitingsplan
	Plan voor ontwikkeling van zoutvoorkomen, toestemming om te winnen. (vereist)	Winningsplan zout, Milieueffectrapportage (MER)
	Aanleg productiefaciliteiten: productielocatie en putten, pekelleidingen. (vereist)	Milieu- en omgevingsvergunningen
Afsluiting	Verwijderen van infrastructuur, dichten van putten, afsluiten cavernes, gebiedsrenovatie. (vereist indien er geen verdere benutting is)	Sluitingsplan

› RUIMTEGEBRUIK EN INFRASTRUCTUUR

4a) Boringen

Nagenoeg alle toepassingen in de diepe ondergrond vereisen de plaatsing van één of meerdere boringen. Zoutboringen variëren in diepte tussen een paar honderd meter tot ca 3 km. Scheefboren gebeurt ook bij (m.n. diepere) zoutwinning wanneer er sprake is van oppervlaktebeperkingen. De horizontale afstand tussen de oppervlaktelocatie en de einddiepte van de boring kan oplopen tot 2 à 3 km. Bij ondiepere zoutwinning wordt om geotechnische redenen zoveel mogelijk verticaal geboord. Het aanleggen van een scheve boring brengt significant hogere kosten met zich mee.

Zoutboringen worden overwegend met relatief lichte boortorens uitgevoerd. De werkterreinen zijn ca. 0,5 tot 1 ha groot en de toren heeft een hoogte van ca. 30 m. Een zoutboring neemt, afhankelijk van de totale diepte, maximaal enkele weken in beslag. Tijdens deze periode is er sprake van enige licht- en geluidshinder en extra vrachtverkeer.

Het uitvoeren van een boring is in Nederland aan strenge regels gebonden. Er zijn verschillende milieu- en omgevingsvergunningen nodig. Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) controleert o.a. de (milieu)technische aspecten van de boring zoals de afwerking (verbuizing) en de verschillende afsluitingen die nodig zijn om lekkages te voorkomen.



Boorterrein bij Isidorushoeve (foto: Charel van Tendeloo)



Boorinstallatie op truck (bron: www.haaksbergen.nl)

› RUIMTEGEBRUIK EN INFRASTRUCTUUR

4b) Productielocatie

Een productielocatie voor zoutwinning is in de regel zeer beperkt van omvang. Vaak worden de puthoofden (waar de boring aan de oppervlakte komt) weggewerkt in kleine huisjes die wegvallen in het landschap. Het zout wordt via pekelleidingen naar de zoutverwerkingsfabriek getransporteerd. De productielocatie ligt meestal direct boven de geplande caverne omdat wegens geringe diepte en hoge kosten de mogelijkheden voor schuin boren beperkt zijn.

Bij Harlingen (Frisia) ligt de winnings- en verwerkingslocatie samen op één terrein met grotere (enkele hectaren) omvang. Van hieruit worden wel scheve boringen naar diepere zoutvoorkomens geplaatst.



Voorbeeld van een zouthuisje waaronder zich de productieput bevindt.



Winningslocatie Frisia bij Harlingen waar dieper zout wordt gewonnen (bron: www.wetsalt.nl).

› RUIMTEGEBRUIK EN INFRASTRUCTUUR

4c) Zoutverwerkingsfabriek

De gewonnen pekkel wordt naar een zoutverwerkingsfabriek gebracht. Hier wordt de pekkel ingedampt en verder verwerkt voor gebruik. Deze fabrieken hebben vaak een relatief grote (enkele hectaren) omvang en bevatten hogere installaties. De verwerkingsfabrieken worden vaak op industrieterreinen geplaatst en krijgen de pekkel via transportleidingen aangevoerd.



Zoutverwerkingsfabriek in Hengelo (bron: rtvoost).

› EFFECTEN

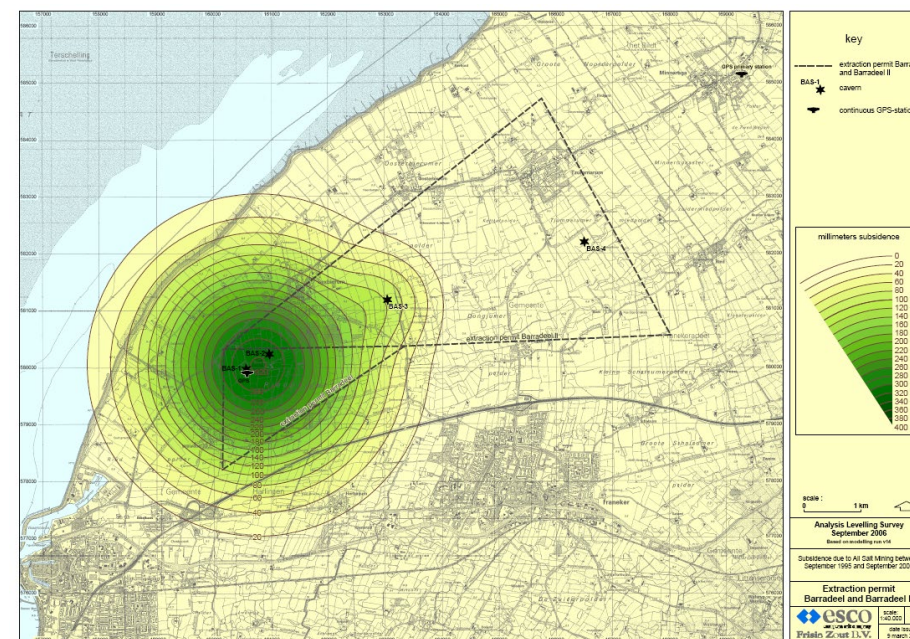
5a) Bodemdaling

Bij zoutwinning door oplosmijnbouw worden holtes aangelegd in de ondergrond (uitlogen). Deze holtes (cavernes) zullen in bepaalde mate convergeren (deels dichtdrukken) waardoor er daling optreedt aan het maaiveld. Op dieptes groter dan 1500 meter zullen cavernes na winning geheel worden dichtgedrukt in een periode van enkele jaren. Ondiepere cavernes convergeren in mindere mate en zullen daardoor minder daling veroorzaken. Tegenwoordig kan de vorm van de caverne goed worden gecontroleerd en is de daling goed beheersbaar. Bij oudere winningen zijn soms instabiele cavernes ontstaan wegens gebrekkige kennis omtrent het uitloogproces. Deze cavernes kunnen op den duur instorten en dienen goed te worden gemonitord.

De daling per caverne in stabiel zout ligt vaak in de orde grootte van minder dan 1 à 2 mm per jaar. Het cumulatieve effect van meerdere (tientallen) cavernes kan echter toch leiden tot een significante daling over de duur van de gehele winning (prognoses tot meerdere tientallen cm's zijn bekend). De diepe winning bij Barradeel heeft tot nu toe geleid tot een daling van 33 cm bij winning uit vier cavernes.

De daling is het grootst direct boven de caverne en neemt geleidelijk af binnen een straal van enkele kilometers rond het veld (zg. bodemdalingskom). De omvang van de bodemdalingskom neemt toe met toenemende diepte van de winning.

Bodemdaling is één van de aspecten die in het wettelijk vereiste winningsplan wordt behandeld. Daarbij worden ook de mitigerende maatregelen en aansprakelijkheid voor schade beschreven. Bodemdaling wordt naast zout- en aardgaswinning ook veroorzaakt door tal van andere processen zoals peilaanpassingen, inklinking van de bodem, geologische bodembewegingen, etc.



Voorbeeld van bodemdaling boven winningslocatie Barradeel
(bron: Frisia bodemdalingsrapport 2007).

› EFFECTEN

5b) Bodemtrillingen en milieu

Wegens het plastische gedrag van zout is het optreden van bevingen zeer onwaarschijnlijk. Mogelijk kunnen in het geval van grote daling wel spanningen ontstaan in het bovenliggende gesteente die leiden tot kleine bevingen. Tot nu toe zijn er nog geen voelbare trillingen waargenomen ten gevolge van zoutwinning in Nederland; wel zijn er een aantal gevallen geweest waarbij niet-voelbare trillingen gemeten zijn.

Zoutwinning heeft in het algemeen zeer beperkte gevolgen voor het milieu. Risico's worden goed afgedekt door wettelijke regelingen waaraan het boren en het produceren van zout moeten voldoen. Hieronder valt o.a. het goed afsluiten van te doorboren lagen (bijv. watervoerende pakketten) en afwerken van de put (verbuizing, cementering) opdat lekkage naar of aantasting van omliggende gesteentelagen wordt voorkomen.

In Nederland bestaat de eis dat het gewonnen zout bij de aanleg van een caverne ook vermarkt moet worden en niet zomaar geloosd mag worden. Frisia heeft wel een aparte vergunning voor het in de haven lozen van onbruikbaar zout dat vrijkomt bij de winning.

› ANDERE ACTIVITEITEN

6a) Overzicht competitie

Zoutstructuren staan niet in verbinding met aquifers en velden en daarom is er over het algemeen sprake van zeer beperkte interferentie tussen zoutwinning en andere activiteiten. Dit deel geeft een overzicht van mogelijk conflicten:

Competitie

Gaswinning naast zoutwinning kan leiden tot een cumulatieve **daling** die onacceptabel is voor de omgeving. In dit geval moet worden bepaald hoe het aandeel van iedere winning wordt verdeeld.

Binnen de Zechstein Groep komen **gasvelden** voor. Deze kunnen een belemmering vormen voor de winning van zout.

Indien de te winnen zoutlaag ook het **afsluitend pakket** vormt van een **reservoir** of **aquifer** waar winnings- of opslagactiviteiten plaatsvinden, zal moeten worden nagegaan of de integriteit van de afsluitende laag niet wordt aangetast door de zoutwinning.

› ANDERE ACTIVITEITEN

6b) Herbenutting

Dit deel geeft een overzicht van activiteiten die na zoutwinning mogelijk zijn in uitgeproduceerde zoutcavernes. In de meeste gevallen kunnen de aanwezige boorgaten worden herbenut. Het heeft overigens de voorkeur om herbenutting in een vroeg stadium vast te stellen opdat het caveerne-ontwerp aansluit op de beoogde opslagfunctie.

1. Buffering van aardgas

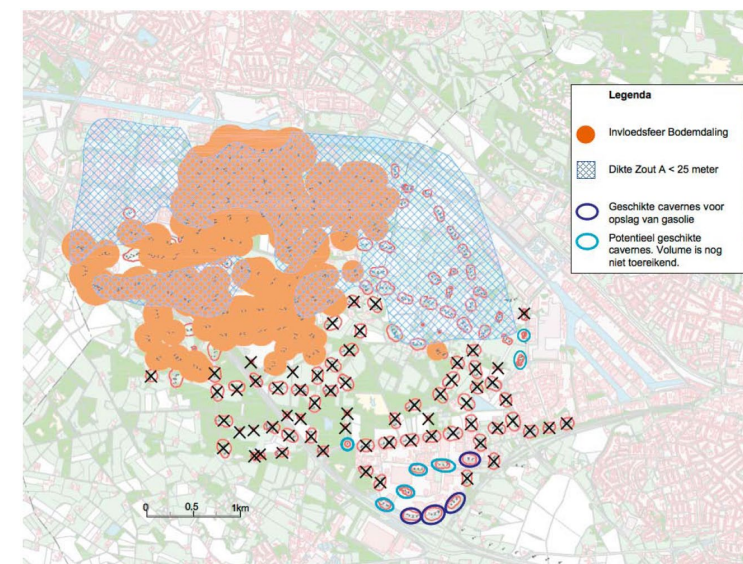
Een zoutcaverne kan na winning en aanleg van de caverne worden benut als gasbuffer. Hiervoor komen vooral de diepere cavernes (1000 – 1500 m) in aanmerking. Omdat het relatief kleine volumes betreft (in vergelijking met gasvelden), is het vooral geschikt voor piekbuffering.

2. Opslag en buffering van industriële gassen, perslucht, gasolie

Deze stoffen worden veelal in kleinere volumes opgeslagen. Daarom zijn cavernes vaak goed geschikt. Ondergrondse opslag in zoutcavernes wordt vaak ook als veiliger gezien dan bovengrondse opslag

3. Opslag van stoffen voor stabilisatie van instabiele cavernes

Er vindt momenteel onderzoek plaats naar de mogelijkheid om (afval)stoffen op te slaan in instabiele cavernes. Door de opslag zouden deze cavernes worden gestabiliseerd en wordt verdere bodemdaling voorkomen.



Voorbeeld van een geplande gasolie-opslag na zoutwinning bij Hengelo. De kaart geeft de locaties van cavernes die geschikt zijn (bron: AkzoNobel).